

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-088120

(43)Date of publication of application : 18.03.2004

(51)Int.Cl.

H01S 3/06

H01S 3/02

H01S 3/07

H01S 3/098

H01S 3/139

(21)Application number : 2003-354301

(71)Applicant : IMRA AMERICA INC

(22)Date of filing : 14.10.2003

(72)Inventor : SUCHA GREGG D DR
FERMANN MARTIN E
HARTER DONALD J DR

(30)Priority

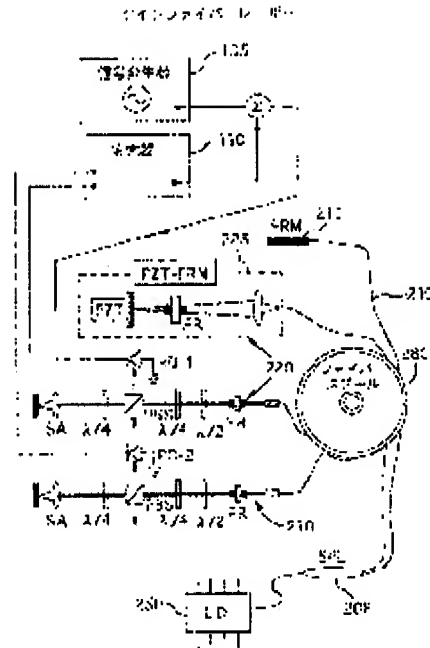
Priority number : 1996 602457 Priority date : 16.02.1996 Priority country : US

(54) METHOD FOR STABLY CONTROLLING SHORT PULSE LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce to the minimum timing jitter caused by variations in environmental condition such as vibrations, disturbance of air, change in temperature.

SOLUTION: Two lasers are configured by using the an identical component in an identical container so as to be pumped by the same pump laser while maintaining a state in which the two lasers can be controlled independently. In particular, in the case of a fiber laser, two fibers are wound together around the same shaft (spool).



CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]

A short-pulse-laser stabilization control method having an isolation step which isolates short pulse laser which consists of an optical fiber twisted around a fiber spool from outside environment.

[Claim 2]

A short-pulse-laser stabilization control method according to claim 1, wherein said fiber spool insulates.

[Claim 3]

A short-pulse-laser stabilization control method according to claim 1, wherein a coefficient of thermal expansion of said fiber spool and a coefficient of thermal expansion of said optical fiber are mutually in agreement.

[Claim 4]

Said short pulse laser is a high-speed short pulse laser as the 1st short pulse laser, and the stability of the 2nd short pulse laser, It is controlled with stabilization control of this 1st short pulse laser, and each of this 1st short pulse laser and this 2nd short pulse laser is fiber lasers, A composition step which constitutes this 1st short pulse laser and this 2nd short pulse laser from same device by the same method,

A pumping step which carries out pumping of this 1st short pulse laser and this 2nd short pulse laser by common laser,

this 1st short pulse laser and this 2nd short pulse laser are twisted around a common fiber spool -
- twisting -- a step,

An installation step which installs this 1st short pulse laser and this 2nd short pulse laser in a single container,

A ****(ing) short-pulse-laser stabilization control method according to claim 1.

[Claim 5]

A short-pulse-laser stabilization control method reducing a timing jitter even to boundary wavelength by operating short pulse laser near zero-dispersion wavelength.

[Claim 6]

A short-pulse-laser stabilization control method having an installation step which installs short pulse laser into a container with which at least one side is given among noise insulation and temperature control.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[Field of the Invention]

[0001]

This invention belongs to the technical field of ultrashort pulse width laser, and belongs to the device for performing the mechanical especially minimum (namely, micron scale) operation, and the technical field of a method.

[Background of the Invention]

[0002]

Also when mode locking is being carried out passively [also when laser is carrying out mode locking actively] by related research, Or also in the case of the combination of a passive mode locked laser and an active mode locked laser, in order to stabilize timing between two mode locked lasers, several kinds of methods have been used. The method used for synchronization is roughly divided and is divided into two types of (1) passivity optical means and (2) electronic stabilization. The highest synchronous accuracy is attained by the passive optical means in which two laser is made to interfere via the optical effect (for example, refer to nonpatent literature 1-4). The terahertz (THz) electromagnetic imaging method using laser as a method of measuring the electric field distribution inside semiconductor devices, such as an integrated circuit and a semiconductor device, by un-destroying and non-contact one is known (for example, refer to nonpatent literature 1). After it impresses voltage to the circuit of a semiconductor device, this is irradiating a circuit surface with a laser beam, generates THz electromagnetic waves and measures the field intensity of a laser beam irradiation position from the amplitude strength of the generated electromagnetic wave. However, since only the amplitude strength of the generated electromagnetic waves was used for this conventional method, there was little information acquired by distinction of the direction of an electric field not sticking, and it was insufficient for an inspection and failure diagnosis of a semiconductor device. It was prescribed by the diffraction limit of the laser beam with which the spatial resolving power of measurement irradiates, and there was a problem in measuring the electric field distribution of a detailed integrated circuit in resolution. The conventional method can only measure the electric field distribution of the whole circuit, and was not able to measure electric field distribution of a specific region called only a signal path, for example.

[0003]

These optical effects (for example, mutual phase modulation etc.) generate the firm mode locking between two laser which synchronizes below with 1 pulse width (less than 100 femtoseconds). The time lag between laser of what brings about synchronization with these most exact is being fixed firmly. Therefore, in order to scan the time lag between these, the usual physical scanning delay method must be used.

[0004]

According to the electronic stabilization which uses simple RF phase detection, when adjusting a relative time lag, pliability is acquired most, but at present, these systems cannot maintain accuracy of timing better than 2-3 pico seconds. Such a system is marketed, in order to stabilize Ti:sapphire laser according to external reference frequency or to take the synchronization of two mode locking Ti:sapphire laser (Spectra-Physics Lok-to-Clock/TM system). If a pulsed light degree homologous term loop (POPLL) is used, stabilization better than 100 femtoseconds will be attained (this is the hybrid optical electronic method and is nonpatent literature 5 reference). In the literature, an electronic stabilization circuit brings about the timing error signal from an optical synchronous detector. However, this method has covered the synchronization (lock) of

the same timing adjustment as the passive optical method. Adjustment of timing is possible at less than one pulse width. So, probably, it is necessary in one laser beam to face using the POPLL method and change relative pulse timing as more greatly [than one pulse width] as possible to insert a physical delay line of a certain kind.

[0005]

If a timing jitter peculiar to laser is reduced, the performance of the timing stabilization by the RF method will be able to be raised. When two laser is placed by the same possible environmental condition, a certain amount of reduction of a peculiar laser jitter is possible. Although sticky pulsed laser is indicated by Dykaar et al., in order to carry out pumping of the two fields where Ti:sapphire laser crystal is divided spatially, the laser beam divided spatially is used for it. It is indispensable to this that two laser currently divided is sharing most elements in the same pump laser, a laser crystal, the space of air, and other cavities except for an end mirror. Since two laser will experience the same temperature change, the noise of a pump laser, and turbulence if it does in this way, the difference in the jitter of repeatability is controlled by minimum. If it carries out like this, even if the optical interference between two laser is weak, two or more pulses can be synchronized together (lock). The general principle of "environmental coupling" is applicable also to the laser of other forms containing a mode locking fiber laser. However, the purpose of Dykaar et al. is to lock two laser together, and it should be cautious of it not being desirable in the place made into the purpose of this invention. It is because this time lag cannot be scanned. That is, the timing pulse from two laser of the above-mentioned sticky pulsed laser by which coupling was carried out is locked together through optical coupling. It is because it is independently uncontrollable.

[Nonpatent literature 1] J.M.Evans, D.E.Spence, D.Burns, and W.Sibbet; "Dual-wavelength selfmode-locked Ti:sapphire lasers." Opt.Lett., 13, pp.1074-7, Jul.1, 1993

[Nonpatent literature 2] M.R.X.de Barros and P.C.Becker; "Two-color synchronously mode-locked femtosecond Ti:sapphire laser." Opt.Lett., 18, pp.631-3, Apr.15, 1993

[Nonpatent literature 3] D.R.Dykaar and S.B.Darak; "Sticky pulses:two-colorcross-mode-locked femtosecond operation of a single Ti:sapphire laser. " Opt.Lett., 18, pp.634-7, Apr.15, 1993

[Nonpatent literature 4] Z.Zhang and T.Yagi, "Dual-wavelength synchronous operation of a mode-locked Ti:sapphire laser based on self-spectrum splitting." Opt.Lett., 18, pp.2126-8, Dec.15, 1993

[Nonpatent literature 5] S.P.Dijaili, J.S.Smith, and A.Dienes, "Timing synchronization of a pasively mode-locked dye laser using a pulsed optical phase locked loop" Appl.Phisics.Lett., 55, pp.418-420, Jul.1989

[Description of the Invention]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

[0006]

The purpose of this invention is to reduce the timing jitter produced by change of environmental conditions, such as disorder of vibration or air, and a temperature change, to the minimum.

[Means for Solving the Problem]

[0007]

A short-pulse-laser stabilization control method of this invention has an isolation step which

isolates short pulse laser which consists of an optical fiber twisted around a fiber spool from outside environment.

[0008]

A fiber spool is good to make it insulate.

[0009]

A coefficient of thermal expansion of a fiber spool and a coefficient of thermal expansion of said optical fiber are good to be mutually in agreement.

[0010]

When consisting of two short pulse fiber lasers, it is good to wind two fiber lasers around the same fiber spool, and to install in a single container.

[0011]

By operating short pulse laser near zero-dispersion wavelength, it is good to reduce a timing jitter even to boundary wavelength.

[0012]

A timing jitter can be reduced further.

[Effect of the Invention]

[0013]

1) Since it is isolated from outside environment, it is not influenced by outside environment.

[0014]

2) Since it insulates, don't receive the influence by a sound (vibration of air).

[0015]

3) It is not influenced by a temperature change.

[0016]

4) The relative timing drift and the absolute timing drift of two short pulse laser can be reduced.

[The best gestalt and example for inventing]

[0017]

The desirable example of this invention which has adopted the two fiber lasers 210, i.e., master laser, and the slave laser 220 is shown in drawing 1.

[0018]

Pumping of both the laser 210,220 is carried out by the laser diode LD 205 [same], and the power of the laser diode is divided by splitter SPL 206 to two laser. As for the master laser 210, the termination is formed of Faraday rotator (polariscope) mirror FRM 215. On the other hand, as for the slave laser 220, the termination is formed of optical assembly PZT-FRM 225.

Although this is almost the same as FRM215, it differs in that the mirror is attached on PZT. The two fiber lasers 210,220 make the component the same mode locking optical system (namely, wavelength plate $\lambda/4$, $\lambda/2$, Faraday rotator FR, and polarization beam splitter PBS). Laser mode locking is put into operation by saturation absorber SA. the output pulse from the low noise output port of both the laser 210,220 -- respectively -- photo-diode PD-1 and PD-2 -- therefore, it is detected. Both photo-diodes are used with the drive stabilizer 130.

[0019]

Both the fiber lasers 210,220 have $\nu_0=4.629\text{MHz}$ nominal repeatability. These, Articles, such as Ferman. (M.E.Ferman, L.M.Yang, M.L.Stock, and M.J.Andrejco, "Environmentally stable Kerr-type mode-locked erbium fiber laser) It is indicated by producing 360-fs pulses."Opt.Lett., 10,

pp.43-5, and Jan.1994. In the literature, nonlinear polarization EVORUSHON (NPE) is used as a mode locking mechanism. Both the laser 210,220 has the same component except for the Faraday rotator mirror. That is, the master laser 210 is having the termination formed by Faraday rotator mirror FRM 215 of a single package. On the other hand, although the slave laser 220 is the same as that of FRM, the termination is formed of assembly PZT-FRM225 by which the mirror is attached on PZT and which is the separated component. The total displacement distance of PZT currently used here is 40 microns. Coupling of both the laser 210,220 is carried out thermally and dynamically by being twisted around the same fiber spool 280 together (maintained at status idem). Moreover, since pumping of both the laser 210,220 is carried out by the pump laser diode LD 205 [same], the pump noise in two laser correlates it. The relative timing between both the laser 210,220 is set up and stabilized with the stabilizer 130 including a PLL circuit. If the stabilizer 130 works once and both the laser 210,220 is set as a proper delay, an agitation signal will be impressed to PZT of the slave laser 220 so that it may be made to scan. An agitation signal is impressed by the signal generator 135, and in order to generate the signal for driving PZT, it is added to the stabilization signal output from the stabilizer 130. Or as the output of the stabilizer 130 includes both the stabilization signal and the agitation signal, an agitation signal may be generated from the stabilizer 130. Any laser 210,220 has two output ports relevant to the polariscope in a cavity, respectively. These two output ports are illustrated as two outputs of each PBS in drawing 1. These two laser outputs have an extremely different mutually noise characteristic. That is, one side has noise a little and another side does not almost have noise. This is because of that of the optical marginal effect that happening to this kind of laser is known (it originates in NPE). It is detected by photo-diode PD-1 and PD-2 which generate the input to the stabilization circuit 130, and ** is this quiet output beam. Using a quiet output beam as an input to the stabilization circuit 130 helps to control a timing jitter to the minimum.

[0020]

A sinusoidal time scan is attained by the inverter which uses this twin fiber laser system. Drawing 2 shows the twocycle of the cross correlation scan (crossing correlation scan) between the two fiber lasers 210,220 shown in drawing 1. This cross correlation scan is the data collected by single-engined data acquisition without equalization. Drawing 2 shows in more detail the cross correlation signal between the two fiber lasers 210,220 which you are made to scan by the agitation method of this invention in the scan frequency of 106 Hz, and 200 pico seconds of scanning zones. Here, drawing 2 is illustrating the scan for a twocycle fully, and shows the advance scan (FOWODOSUKYAN) and the retreat scan (back ward scan). It combines and the sine voltage currently impressed to the PZT controller and the trigger output of the signal generator 135 which has appeared as a square wave are illustrated. The plot of drawing 2 is obtained in the pulse from the two laser 210,220 through the modification synchronous detector which uses peace cycle mixing (sum frequency mixing) within a nonlinear crystal, i.e., a beta barium borate (BBO) crystal.

[0021]

Mechanical delay (delay) of a scan is used in one branch (one arm) of publicly known correlator (correlator). However, mechanical delay is not used in the correlator of this invention. All the scans are performed by the above-mentioned laser shaking method. The sine voltage currently

impressed to the PZT controller and the trigger output from the signal generator 135 are illustrated by drawing 2. The move end of PZT marked on the graph should care about that the phase has separated only 90 degrees from the impressed sine wave. A scanning zone is about 200 pico seconds in the scan frequency of 100 Hz. This is equivalent to the 3-cm physical delay with the repeatability of 100 Hz. However, in this twin laser system, the same scanning zone as this is attained by moving mere 2-3 microns of PZT(s) of the slave laser 220.

[0022]

This cross-correlation method was used in order to measure the timing jitter between the two laser 210,220. Proofreading of timing is performed by ****(ing) a glass etalon with a thickness of 2 mm which makes the train of impulses separated only 20 pico seconds to one branch of correlator. These trains of impulses are on the scan in drawing 2, and can be recognized visually clearly. The time scale which extended the same scan is illustrating drawing 3. The duplicate of two pulses (one laser has satellite pulses) which were generated by ****(ing) a 2-mm glass etalon to one branch of correlator from the figure and which are vacating the interval for the neighborhood very much, and the pulse of this couple can be grasped. The pulse of this couple has separated only 20 pico seconds corresponding to the optical thickness of an etalon from the main (main) pulse pair (just). Here, pulse width is in a 1-pico second order, and only 2-3 pico seconds, satellite pulses separate from a main pulse and exist. Therefore, the RMS timing jitter was measured with $\Delta T_j = 5$ pico second with the deviation of the timing by the situation up to ± 20 pico seconds. The data of the timing jitter is shown in drawing 4, and each data point expresses the relative time lag during the scan of each laser 210,220 in the scanning rate of 106 Hz with the figure. This measured jitter has illustrated the limit of the accuracy of the electronic PLL circuit of the stabilizer 130, and it has illustrated how the information on timing is acquired precisely in spite of a jitter like this. If a scan is performed quickly enough, the relative timing jitter within a scan time can be made very small. And if a stable timing pulse sequence is acquired by letting a laser pulse pass to an etalon, for example, even the jitter between scan times can be known correctly. Thus, though laser has a several pico seconds jitter, a scan characteristic becomes clear in the accuracy of a sub picosecond.

[0023]

The use of two or more laser packed together (KO packaging) is serious.

[0024]

In the dual laser system which is not nice, setting up is independently finished on the pedestal (breadboard) from which the laser of the same couple differs, and pumping was carried out by different laser just because it was assembled by this invention person before. Even if it used a stabilizer, before the mismatch of cavity length exceeded 40 microns of the moving range of PZT, it was about only 30 minutes that the slave laser was following in footsteps of master laser. At this (a mismatch exceeds 40 microns) time, imitation (tracking) became impossible. So, even if it is under a normal room temperature, the drift of the mismatch of the cavity length between the couples of 5-MHz laser has exceeded easily 40 microns which is a movable range of a great portion of PZT.

[0025]

Symmetrically, since this can follow indefinitely the system by which this invention was packed together, it shows that the mismatch of cavity length has stopped splendidly within the 40-

micron restriction by PZT at the bottom of a normal indoor state. According to measurement of the absolute value of a frequency drift, and measurement of a relative value, about [of the absolute drift of one laser] 1/7 understands that the relative frequency drift between the two laser 210,220 is small. A relative drift is on manufacture and can improve still smaller by making two laser very identically. . [whether it is because this forms the termination of both the laser 210,220 with the same PZT-FRM assembly, and] Or it can attain by forming the termination of both the laser 210,220 with the same FRM package, and changing the cavity length of the slave laser 220 by a fiber stretcher.

[0026]

In order to reduce further both a relative timing drift and an absolute timing drift, it is good to insulate the fiber spool 280 and other components, and to constitute two laser in the same container. If it carries out like this, it will insulate and temperature will also be controlled. All the above-mentioned all directions methods are used the place got blocked, A relative timing jitter even to boundary wavelength. It reached (H.A.Haus and A.Mecozzi, "Noise of mode-locked lasers," IEEE J. Quantum Electron., QE-29, pp.983-996, March 0993). By operating a mode locked laser near the wavelength of distributed zero, a jitter is reduced further and it will deal in it, since the timing jitter by boundary wavelength increases with increase of distribution (DISUPASHON).

[0027]

By disturbing the end mirror of a mode locked laser, change of the amplitude in scan frequency is induced because of the misalignment of a mirror, and a focus blank. By making a focus connect to a PZT mirror so that the sensitivity of an angle may be reduced, an operation of misalignment is minimized again by using the three-point attitude mirror scan PZT so that alignment may be maintained, although it can do with a commercial Fabry-Perot interferometer. The influence of a focus blank may be generated when so small that scanning amplitude is permissible to the confocal parameter of beam waist incidence (beam waist incident) to a PZT mirror. In a fiber laser, this focus blank causes reduction of the coupling efficiency (coupling EFESHI Enshi) of the beam which returns in a fiber, and causes change of power shortly. So, the depth of focus of a PZT mirror being shallow (tightness focusing) is that it is not desirable. The influence of this focus blank can be reduced by wise selection of the collimation of a beam. For example, if PZT with a 40-micron scanning zone is used, at least 2-3 mm will be required for a confocal parameter. Then, it is quite small that the quantity of $^2 (\Delta L/Z_R)$ is 10^{-4} about noting that Z_R is a confocal parameter of the beam waste in a PZT mirror. If this quantity is small, the amplitude modulation of laser is small in connection with this.

[0028]

Even if it even if brings some change to the amplitude which the slight misalignment of a mirror is scanning, stability of the waveguide characteristic (guiding property) of a fiber, therefore beam directivity (pointing) is not ***** (ed) rather. However, if measurement is not performed so that generating of the deviation of an output beam may be prevented when a solid-state mode locked laser is used, the deviation of some output beams may arise.

[0029]

As laser system of a modification mode, the termination of both laser may be formed by the same FRM, and cavity length is adjusted with a PZT fiber stretcher. Such a piezo ceramic-tube

actuator (PiT40x18x1) is manufactured by piezo mechanical incorporated company in Germany.
[0030]

Although this invention has been explained with reference to a desirable example, application is not limited to these examples. It is clear to a person skilled in the art that there are the modification mode and variation of others to this invention from the above indication and instigation. Therefore, although the examples of this invention which was taken up here and has been explained are some those mere, it is clear for many modification to be possible on it in addition, without separating from the thought and the view of this invention.

[Brief Description of the Drawings]

[0031]

[Drawing 1]The mimetic diagram showing the composition of the twin fiber laser system of this invention (in a same system, the fiber of both laser is wound around the same axis, and uses the two same mode locking fiber lasers that use nonlinear polarization deployment (EVORUSHON) as a mode locking mechanism.)

[Drawing 2]The graph which shows the cross correlation signal between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

[Drawing 3]The expansion graph which shows the cross correlation signal between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

[Drawing 4]The graph which shows the timing jitter between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

[Description of Notations]

[0032]

130: PLL circuit stabilizer

135: Signal generator

210: Master laser

220: Slave laser

206: splitter (SPL)

215: Faraday rotator mirror (FRM)

225: optical Assen Puri (PZT-FRM)

250: Laser diode (LD)

280: Fiber spool

TECHNICAL FIELD

[Field of the Invention]

[0001]

This invention belongs to the technical field of ultrashort pulse width laser, and belongs to the device for performing the mechanical especially minimum (namely, micron scale) operation, and the technical field of a method.

PRIOR ART

[Background of the Invention]

[0002]

Also when mode locking is being carried out passively [also when laser is carrying out mode locking actively] by related research, Or also in the case of the combination of a passive mode locked laser and an active mode locked laser, in order to stabilize timing between two mode locked lasers, several kinds of methods have been used. The method used for synchronization is roughly divided and is divided into two types of (1) passivity optical means and (2) electronic stabilization. The highest synchronous accuracy is attained by the passive optical means in which two laser is made to interfere via the optical effect (for example, refer to nonpatent literature 1-4). The terahertz (THz) electromagnetic imaging method using laser as a method of measuring the electric field distribution inside semiconductor devices, such as an integrated circuit and a semiconductor device, by un-destroying and non-contact one is known (for example, refer to nonpatent literature 1). After it impresses voltage to the circuit of a semiconductor device, this is irradiating a circuit surface with a laser beam, generates THz electromagnetic waves and measures the field intensity of a laser beam irradiation position from the amplitude strength of the generated electromagnetic wave. However, since only the amplitude strength of the generated electromagnetic waves was used for this conventional method, there was little information acquired by distinction of the direction of an electric field not sticking, and it was insufficient for an inspection and failure diagnosis of a semiconductor device. It was prescribed by the diffraction limit of the laser beam with which the spatial resolving power of measurement irradiates, and there was a problem in measuring the electric field distribution of a detailed integrated circuit in resolution. The conventional method can only measure the electric field distribution of the whole circuit, and was not able to measure electric field distribution of a specific region called only a signal path, for example.

[0003]

These optical effects (for example, mutual phase modulation etc.) generate the firm mode locking between two laser which synchronizes below with 1 pulse width (less than 100 femtoseconds). The time lag between laser of what brings about synchronization with these most exact is being fixed firmly. Therefore, in order to scan the time lag between these, the usual physical scanning delay method must be used.

[0004]

According to the electronic stabilization which uses simple RF phase detection, when adjusting a relative time lag, pliability is acquired most, but at present, these systems cannot maintain accuracy of timing better than 2-3 pico seconds. Such a system is marketed, in order to stabilize Ti:sapphire laser according to external reference frequency or to take the synchronization of two mode locking Ti:sapphire laser (Spectra-Physics Lok-to-Clock/TM system). If a pulsed light degree homologous term loop (POPLL) is used, stabilization better than 100 femtoseconds will be attained (this is the hybrid optical electronic method and is nonpatent literature 5 reference). In the literature, an electronic stabilization circuit brings about the timing error signal from an optical synchronous detector. However, this method has covered the synchronization (lock) of the same timing adjustment as the passive optical method. Adjustment of timing is possible at

less than one pulse width. So, probably, it is necessary in one laser beam to face using the POPLL method and change relative pulse timing as more greatly [than one pulse width] as possible to insert a physical delay line of a certain kind.

[0005]

If a timing jitter peculiar to laser is reduced, the performance of the timing stabilization by the RF method will be able to be raised. When two laser is placed by the same possible environmental condition, a certain amount of reduction of a peculiar laser jitter is possible. Although sticky pulsed laser is indicated by Dykaar et al., in order to carry out pumping of the two fields where Ti:sapphire laser crystal is divided spatially, the laser beam divided spatially is used for it. It is indispensable to this that two laser currently divided is sharing most elements in the same pump laser, a laser crystal, the space of air, and other cavities except for an end mirror. Since two laser will experience the same temperature change, the noise of a pump laser, and turbulence if it does in this way, the difference in the jitter of repeatability is controlled by minimum. If it carries out like this, even if the optical interference between two laser is weak, two or more pulses can be synchronized together (lock). The general principle of "environmental coupling" is applicable also to the laser of other forms containing a mode locking fiber laser. However, the purpose of Dykaar et al. is to lock two laser together, and it should be cautious of it not being desirable in the place made into the purpose of this invention. It is because this time lag cannot be scanned. That is, the timing pulse from two laser of the above-mentioned sticky pulsed laser by which coupling was carried out is locked together through optical coupling. It is because it is independently uncontrollable.

[Nonpatent literature 1] J.M.Evans, D.E.Spence, D.Burns, and W.Sibbet; "Dual-wavelength selfmode-locked Ti:sapphire lasers." Opt.Lett., 13, pp.1074-7, Jul.1, 1993

[Nonpatent literature 2] M.R.X.de Barros and P.C.Becker; "Two-color synchronously mode-locked femtosecond Ti:sapphire laser." Opt.Lett., 18, pp.631-3, Apr.15, 1993

[Nonpatent literature 3] D.R.Dykaar and S.B.Darak; "Sticky pulses:two-colorcross-mode-locked femtosecond operation of a single Ti:sapphire laser. " Opt.Lett., 18, pp.634-7, Apr.15, 1993

[Nonpatent literature 4] Z.Zhang and T.Yagi, "Dual-wavelength synchronous operation of a mode-locked Ti:sapphire laser based on self-spectrum splitting." Opt.Lett., 18, pp.2126-8, Dec.15, 1993

[Nonpatent literature 5] S.P.Dijaili, J.S.Smith, and A.Dienes, "Timing synchronization of a pasively mode-locked dye laser using a pulsed optical phase locked loop" Appl.Phisics.Lett., 55, pp.418-420, Jul.1989

EFFECT OF THE INVENTION

[Effect of the Invention]

[0013]

1) Since it is isolated from outside environment, it is not influenced by outside environment.

[0014]

2) Since it insulates, don't receive the influence by a sound (vibration of air).

[0015]

3) It is not influenced by a temperature change.

[0016]

4) The relative timing drift and the absolute timing drift of two short pulse laser can be reduced.

TECHNICAL PROBLEM

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

[0006]

The purpose of this invention is to reduce the timing jitter produced by change of environmental conditions, such as disorder of vibration or air, and a temperature change, to the minimum.

MEANS

[Means for Solving the Problem]

[0007]

A short-pulse-laser stabilization control method of this invention has an isolation step which isolates short pulse laser which consists of an optical fiber twisted around a fiber spool from outside environment.

[0008]

A fiber spool is good to make it insulate.

[0009]

A coefficient of thermal expansion of a fiber spool and a coefficient of thermal expansion of said optical fiber are good to be mutually in agreement.

[0010]

When consisting of two short pulse fiber lasers, it is good to wind two fiber lasers around the same fiber spool, and to install in a single container.

[0011]

By operating short pulse laser near zero-dispersion wavelength, it is good to reduce a timing jitter even to boundary wavelength.

[0012]

A timing jitter can be reduced further.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[0031]

[Drawing 1] The mimetic diagram showing the composition of the twin fiber laser system of this invention (in a same system, the fiber of both laser is wound around the same axis, and uses the two same mode locking fiber lasers that use nonlinear polarization deployment (EVORUSHON) as a mode locking mechanism.)

[Drawing 2] The graph which shows the cross correlation signal between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

[Drawing 3] The expansion graph which shows the cross correlation signal between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

[Drawing 4] The graph which shows the timing jitter between two fiber lasers scanned by the method of shaking this invention

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-88120

(P2004-88120A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 3/06	H O 1 S 3/06 B	5 F O 7 2
H O 1 S 3/02	H O 1 S 3/02	
H O 1 S 3/07	H O 1 S 3/07	
H O 1 S 3/088	H O 1 S 3/098	
H O 1 S 3/139	H O 1 S 3/139	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2003-354301 (P2003-354301)	(71) 出願人	593185670
(22) 出願日	平成15年10月14日 (2003.10.14)		イムラ アメリカ インコーポレイテッド
(62) 分割の表示	特願平9-30863の分割		アメリカ合衆国 ミシガン州48105
原出願日	平成9年2月14日 (1997.2.14)		アンアーバー ウッドリッジ・アベニュー
(31) 優先権主張番号	08/602457		1044
(32) 優先日	平成8年2月16日 (1996.2.16)	(74) 代理人	100081776
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 大川 宏
		(72) 発明者	グレッグ ディー スーハ
			アメリカ合衆国 ミシガン州 マンチェス
			ター シャーロン・ホロー・ロード545
			0番地
		(72) 発明者	マーチン イー ファーマン
			アメリカ合衆国 ミシガン州 アンアーバ
			ー レイバイン・コート4931番地

最終頁に続く

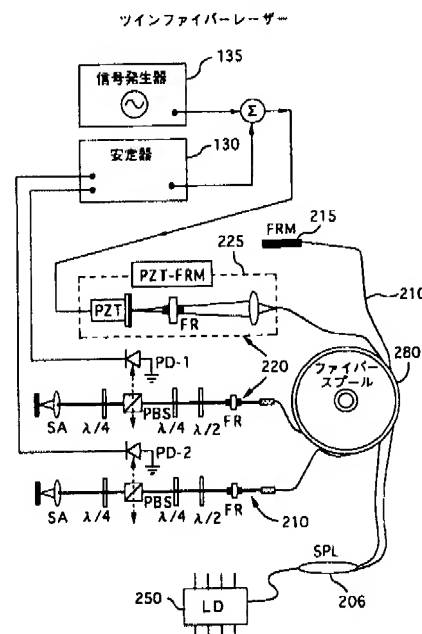
(54) 【発明の名称】 短パルスレーザー安定制御方法

(57) 【要約】

【課題】 振動や空気の乱れ、温度変化などの環境条件の変動により生じるタイミングジッターを、最小限に低減すること。

【解決手段】 二つのレーザーを独立に制御できるようにしながら、同一の容器内で同一の要素を使用して、同じポンプレーザーでポンピングされるように、両方のレーザーを構成する。とりわけファイバーレーザーの場合には、同じ軸（スプール）に二つのファイバーを一緒に巻き付ける。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

ファイバースパールに巻き付けられている光ファイバーからなる短パルスレーザーを外部環境から隔離する隔離ステップを有することを特徴とする短パルスレーザー安定制御方法。

【請求項2】

前記ファイバースパールは、遮音されていることを特徴とする請求項1記載の短パルスレーザー安定制御方法。

【請求項3】

前記ファイバースパールの熱膨張係数と前記光ファイバーの熱膨張係数とは、互いに一致していることを特徴とする請求項1記載の短パルスレーザー安定制御方法。

【請求項4】

前記短パルスレーザーは、第1短パルスレーザーとしての高速短パルスレーザーであり、第2短パルスレーザーの安定性は、該第1短パルスレーザーの安定制御と共に制御され、該第1短パルスレーザーおよび該第2短パルスレーザーは、いずれもファイバーレーザーであって、

該第1短パルスレーザーおよび該第2短パルスレーザーを同一の装置から同一の仕方で構成する構成ステップと、

該第1短パルスレーザーおよび該第2短パルスレーザーを共通のレーザーでポンピングするポンピングステップと、

該第1短パルスレーザーおよび該第2短パルスレーザーを共通のファイバースパールに巻き付ける巻き付けステップと、

該第1短パルスレーザーおよび該第2短パルスレーザーを単一の容器内に設置する設置ステップと、

を有することを特徴とする請求項1記載の短パルスレーザー安定制御方法。

【請求項5】

短パルスレーザーをゼロ分散波長付近で動作させることにより、タイミングジッターを量子限界にまで低減することを特徴とする短パルスレーザー安定制御方法。

【請求項6】

遮音および温度制御のうち少なくとも一方が施されている容器中に短パルスレーザーを設置する設置ステップを有することを特徴とする短パルスレーザー安定制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超短パルス幅レーザーの技術分野に属し、特に極小（すなわちミクロンスケール）の機械的な動作を実行するための装置および方法の技術分野に属する。

【背景技術】

【0002】

関連する研究で、レーザーが能動的にモード同期している場合にも受動的にモード同期している場合にも、あるいは受動モードロックレーザーと能動モードロックレーザーとの組み合わせの場合にも、二つのモードロックレーザーの間でタイミングを安定化させるために、数種類の方法が使用されてきた。同期化のために使用された方法は、大きく分けて（1）受動光学的方法と（2）電子的安定化との二つのタイプに分かれる。最も高い同期精度は、二つのレーザーを光学効果を介して干渉させる受動光学的方法によって達成される（例えば、非特許文献1-4参照）。

半導体集積回路や半導体素子等の半導体デバイスの内部の電界分布を非破壊・非接触で測定する方法として、レーザを用いたテラヘルツ（THz）電磁波イメージング法が知られている（例えば、非特許文献1参照）。これは半導体デバイスの回路に電圧を印加した後、回路表面にレーザ光を照射すること、THz電磁波を発生させ、その発生した電磁波の振幅強度からレーザ光照射位置の電界強度を測定するものである。しかし、この従来の

10

20

30

40

50

方法は、発生した電磁波の振幅強度のみを使用するため電界の方向の区別がつかず、得られる情報が少なく、半導体デバイスの検査や故障診断には不十分であった。また、測定の間分解能が照射するレーザー光の回折限界で規定され、微細な半導体集積回路の電界分布を測定するには分解能的に問題があった。さらに、従来の方法は、回路全体の電界分布が測定できるだけで、例えば、信号経路のみといった特定領域の電界分布を測定することができなかった。

【0003】

これらの光学効果（例えば相互位相変調等）は、一パルス幅（100フェムト秒未満）以下に同期される二つのレーザー間での強固なモード同期を発生させる。これらは最も正確な同期化をもたらしものの、レーザー間の時間遅れは強固に固定されている。そのため、これらの間の時間遅れを走査するためには、通常の物理的な走査遅延方法を使用せざるを得ない。

【0004】

単純なRF位相検知を使用した電子的な安定化によれば、相対的な時間遅れを調整する上で最も柔軟性が得られるが、しかし現時点ではこれらのシステムは、2〜3ピコ秒よりも良好なタイミングの正確さを維持することができない。このようなシステムは、外部の参照周波数に合わせてTi:Sapphireレーザーを安定化させたり、二つのモードロックTi:Sapphireレーザーの同期を取ったりするために、市販されている（スペクトラフィジックス Lok to Clock/TM システム）。パルス光学位相同期ループ（POPLL）を使用すれば、100フェムト秒よりも良好な安定化が達成される（これはハイブリッド光学電子的方法であって、非特許文献5参照）。同文献では、電子安定化回路が、光学的相互相関器からのタイミング誤差信号をもたらし。しかしながら、この方法は、受動的光学方法としての同じタイミング調整の同期（ロック）を被っている。タイミングの調整は、一つのパルス幅未満でのみ可能である。それゆえ、POPLL法を使用するに際して、一つのパルス幅より少しでも大きく相対パルスタイミングを変更したい場合には、一つのレーザービームの中にある種の物理的な遅延線を挿入することが必要になるであろう。

【0005】

もしもレーザー固有のタイミングジッターが低減されるのであれば、RF法によるタイミング安定化の性能を向上させることができるであろう。二つのレーザーができる限り同一の環境条件に置かれることにより、固有のレーザージッターのある程度の低減が可能である。スティッキーパルス・レーザーは、Dykaar et al. に開示されているが、Ti:Sapphireレーザー結晶の空間的に分かれている二つの領域をポンピングするために、空間的に分割されたレーザービームを採用している。これには、二つの分割されているレーザーが、エンドミラーを除いて同じポンプレーザー、レーザー結晶、空気の空間、およびその他のキャビティ内の要素のほとんどを共有していることが不可欠である。このようにすれば、二つのレーザーは、同じ温度変動、ポンプレーザーのノイズ、および擾乱を経験するので、反復率のジッターにおける差異が最低限に抑制される。こうすれば、たとえ二つのレーザー間での光学的干渉が弱くても、複数のパルスを一緒に同期（ロック）することができる。「環境的カップリング」の一般的な原則は、モードロック・ファイバーレーザーを含む他の形式のレーザーにも適用可能である。しかしながら、Dykaar et al. の目的は二つのレーザーを一緒にロックすることであり、本発明の目的とするところでは好ましくないことに注意すべきである。なぜならば、この時間遅れは走査できないからである。すなわち、前述のスティッキーパルス・レーザーの二つのカップリングされたレーザーからのタイミングパルスは、光学的カップリングを通して一緒にロックされるものであり、独立に制御することはできないからである。

【非特許文献1】J.M.Evans, D.E.Spence, D.Burns, and W.Sibbet: "Dual wavelength selfmode locked Ti:sapphire lasers." Opt.Lett., 18, pp.1074-7, Jul.1, 1993

【非特許文献2】M.R.X.de Barros and P.C.Becker: "Two color synchronously mode locked femtosecond Ti:sapphire laser." Opt.Lett., 18, pp.631-3, Apr.15, 1993

【非特許文献3】D.R.Dykaar and S.B.Darak: "Sticky pulses: two color cross mode l

10

20

30

40

50

ocked femtosecond operation of a single Ti:sapphire laser." Opt.Lett., 18, pp.634-7, Apr.15, 1993

【非特許文献4】Z.Zhang and T.Yagi, "Dual wavelength synchronous operation of a mode locked Ti:sapphire laser based on self spectrum splitting." Opt.Lett., 18, pp.2126-8, Dec.15, 1993

【非特許文献5】S.P.Dijaili, J.S.Smith, and A.Dienes, "Timing synchronization of a passively mode locked dye laser using a pulsed optical phase locked loop" Appl.Physics.Lett., 55, pp.418-420, Jul.1989

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

本発明の目的は、振動や空気の乱れ、温度変化などの環境条件の変動により生じるタイミングジッターを、最小限に低減することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の短パルスレーザー安定制御方法は、ファイバースプールに巻き付けられている光ファイバーからなる短パルスレーザーを外部環境から隔離する隔離ステップを有している。

【0008】

ファイバースプールは、遮音されているようにするとよい。

20

【0009】

ファイバースプールの熱膨張係数と前記光ファイバーの熱膨張係数とは、互いに一致しているとしてよい。

【0010】

二つの短パルスファイバーレーザーからなる場合は、二つのファイバーレーザーを同一のファイバースプールに巻き、単一の容器内に設置するとよい。

【0011】

短パルスレーザーをゼロ分散波長付近で作動させることにより、タイミングジッターを量子限界にまで低減するようにするとよい。

【0012】

タイミングジッターをさらに低減することができる。

30

【発明の効果】

【0013】

1) 外部環境から隔離されるので、外部環境の影響を受けない。

【0014】

2) 遮音されるので、音(空気の振動)による影響を受けない。

【0015】

3) 温度変化の影響を受けない。

【0016】

4) 二つの短パルスレーザーの相対的なタイミングドリフト及び絶対的なタイミングドリフトを低減することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態及び実施例】

【0017】

図1に、二つのファイバーレーザーすなわちマスターレーザー210およびスレーブレーザー220を採用している本発明の好ましい実施例を示す。

【0018】

両レーザー210、220は、同じレーザーダイオードLD 205によってポンピングされており、同レーザーダイオードのパワーはスプリッターSPL 206により二つのレーザーへと分割されている。マスターレーザー210は、フレデー回転子(旋光器)ミラーFRM 215によって終端が形成されている。一方、スレーブレーザー220

50

は、光学アセンブリP区T-FRM 225によって終端が形成されている。これはFRM 215とほぼ同じであるが、ミラーがP区T上に取り付けられている点が異なっている。二つのファイバーレーザ210、220は、同一のモード同期光学系（すなわち波長板 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ 、ファラデー回転子FR、および偏光ビームスプリッタPBS）を構成要素としている。レーザモード同期は、飽和吸収器SAによって始動される。両レーザ210、220の低雑音出力ポートからの出力パルスは、それぞれフォトダイオードPD-1、PD-2によって検知される。両フォトダイオードは、駆動安定器130によって使用される。

【0019】

両ファイバーレーザ210、220は、 $\nu_0 = 4.629 \text{ MHz}$ の公称反復率を持っている。これらは、フーマン等の文献（M.E.Ferman, L.M.Yang, M.L.Stock, and M.J.Andrejco, "Environmentally stable Kerr type mode locked erbium fiber laser producing 360 fs pulses," Opt.Lett., 10, pp.435, Jan.1994）に開示されている。同文献では、モード同期機構として非線形偏光エヴェルーション（NPE）が使用されている。両レーザ210、220は、ファラデー回転子ミラーを除いて、同一の構成要素を持っている。すなわち、マスターレーザ210は、シングルパッケージのファラデー回転子ミラーFRM 215で終端が形成されている。一方、スレーブレーザ220は、FRMと同一ではあるがミラーがP区T上に取り付けられている分離した構成要素であるアセンブリP区T-FRM 225によって終端が形成されている。ここで使用されているP区Tは、全移動行程が40ミクロンのものである。両レーザ210、220は、同じファイバースプール280と一緒に巻き付けられることにより、熱的および力学的にカップリングされている（同一状態に保たれている）。そのうえ、両レーザ210、220は、同じポンプレザダイオードLD 205によってポンピングされているので、二つのレーザ内のポンプノイズは相関している。両レーザ210、220間の相対的なタイミングは、PLL回路を含む安定器130によって設定され安定化されている。ひとたび安定器130が稼働し両レーザ210、220が適正な遅れに設定されると、走査させるようにスレーブレーザ220のP区Tに動揺信号が印加される。動揺信号は、信号発生器135により印加され、P区Tを駆動するための信号を生成するために、安定器130からの安定化信号出力に加えられる。あるいは、安定器130の出力が安定化信号および動揺信号の両方を含んでいるようにして、安定器130から動揺信号を発生させても良い。いずれのレーザ210、220も、キャビティ内の偏光器に関連した二つの出力ポートをそれぞれ持っている。これら二つの出力ポートは、図1中に各PBSの二つの出力として図示されている。これら二つのレーザ出力は、互いに極めて異なった雑音特性を持っている。すなわち、一方はいくぶん雑音があり、他方はほとんど雑音がない。これは、この種のレーザに起こることが知られている（NPEに起因する）光学限界効果のゆえである。安定化回路130への入力を生成するフォトダイオードPD-1、PD-2によって検出されるのは、この静かな出力ビームである。安定化回路130への入力として静かな出力ビームを使うことは、タイミングジッターを最小限に抑制する助けになる。

【0020】

正弦波時間走査は、このツインファイバーレーザシステムを使用したインバーターによって達成される。図2は、図1に示した二つのファイバーレーザ210、220の間の相互相関走査（クロスコリレーション・スキャン）の二サイクルを示している。この相互相関走査は、平均化なしの単発のデータ取得により収集されたデータである。より詳しくは、走査周波数106Hz、走査範囲200ピコ秒における本発明の動揺方法により走査させられている二つのファイバーレーザ210、220間の相互相関信号を、図2は示している。ここで、図2はフルに二サイクル分の走査を図示しており、前進走査（フォワードスキャン）および後退走査（バックワードスキャン）を示している。併せて、P区T制御器に印加されている正弦波電圧と、矩形波として現れている信号発生器135のトリガー出力とが図示されている。図2のプロットは、二つのレーザ210、220からのパルスを、非線形結晶すなわちベータバリウム・ボレート（BBO）結晶内での和

10

20

30

40

50

周波混合（サム・フリークエンシー・ミキシング）を使用した変形相互相関器を通して得られたものである。

【0021】

走査の機械的な遅延（遅れ、ディレイ）は、公知の相関器（コリレーター）の一枝（ワンアーム）の中で使用される。しかしながら、本発明の相関器では、機械的な遅延は使用されていない。全ての走査は、前述のレーザー動揺法によって行われている。また図2には、P区T制御器に印加されている正弦波電圧と、信号発生器135からのトリガー出力とが図示されている。グラフ上にマークされたP区Tの移動端は、印加された正弦波から90度だけ位相が外れていることに留意されたい。走査範囲は、走査周波数100Hzで約200ピコ秒である。これは、反復率100Hzでの3cmの物理的な遅延と等価である。しかし、このツインレーザーシステムでは、これと同じ走査範囲が、スレーブレーザー220のP区Tをほんの2〜3マイクロンだけ動かすことにより達成されている。

【0022】

この相互相関法は、二つのレーザー210、220間のタイミングジッターを計測するために使用された。タイミングの校正は、20ピコ秒だけ分離されたパルス列を作り出す厚さ2mmのガラスエタロンを相関器の一枝に挿入することにより、行われている。これらのパルス列は、図2中の走査上で明瞭に視認できる。図3は、同じ走査を引き伸ばした時間スケールで図示している。同図から、2mmのガラスエタロンを相関器の一枝に挿入することによって生成されたごく近傍に間隔を空けている二つのパルス（一つのレーザーはサテライトパルスを持っている）と、この一対のパルスの複製とが見て取れる。この一対のパルスは、エタロンの光学的厚さに対応している20ピコ秒だけ、主たる（メイン）パルス対（ついで）から離れている。ここで、パルス幅は1ピコ秒のオーダーにあり、またサテライトパルスは2〜3ピコ秒だけメインパルスから離れて存在している。したがって、RMSタイミングジッターは、±20ピコ秒までの状況によるタイミングの偏差を伴って、 $\Delta T_j = 5$ ピコ秒と測定された。タイミングジッターのデータは図4に示されており、同図では各データポイントが、走査率106Hzでの各レーザー210、220の走査間の相対的な時間遅れを表している。この計測されたジッターは、安定器130の電子的PLL回路の精度の限界を例示していると共に、これだけのジッターにもかかわらず如何に精密にタイミングの情報が得られるかをも例示している。もし走査が十分に急速に行われるのであれば、走査時間内の相対的なタイミングジッターは、極めて小さくすることができる。そして、例えばレーザーパルスをエタロンに通すことにより、もし安定なタイミングパルス列が得られるのであれば、走査時間の間のジッターさえも正確に知ることができる。このようにして、レーザーに数ピコ秒のジッターがありながらも、走査特性はサブピコ秒の精度で明らかになる。

【0023】

一緒にパッケージ（コ・パッケージング）された複数のレーザーの効用は、重大である。

【0024】

以前に本発明者により組み立てられたあまりうまくないデュアルレーザーシステムでは、同様の一対のレーザーが異なる基台（ブレッドボード）上に別々に組み上げられており、異なるレーザーによってポンピングされていた。安定器を使用しても、P区Tの移動範囲の40マイクロンをキャビティー長のミスマッチが超える前に、そのスレーブレーザーがマスターレーザーに追随していたのは、わずかに30分程度であった。この（ミスマッチが40マイクロンを超える）時点で、追随（トラッキング）は不可能となった。それゆえ、正常な室温の下にあっても、5MHzレーザーの一対の間でのキャビティー長のミスマッチのドリフトは、大半のP区Tの可動範囲である40マイクロンを容易に超えてしまった。

【0025】

これとは対称的に、本発明の一緒にパッケージされたシステムは、無期限に追従することができるので、正常な室内状態の下でP区Tによる40マイクロンの制限内にキャビティー長のミスマッチが見事に留まっていることを示している。周波数ドリフトの絶対値の計

10

20

30

40

50

測と相対値の計測によれば、二つのレーザー210、220の間の相対的な周波数ドリフトは、一つのレーザーの絶対的なドリフトの7分の1程度に小さいことが分かる。相対的なドリフトは、製作上で二つのレーザーを真に同一に作ることににより、さらに小さく改善することができる。これは、両レーザー210、220の終端を同一のP区T-FRMアセンブリで形成することによるか、または両レーザー210、220の終端を同一のFRMパッケージで形成し、スレーブレーザー220のキャビティ長をファイバー・ストレッチャーで変更することにより、達成することができる。

【0026】

相対的タイミングドリフトおよび絶対的タイミングドリフトの両方をさらに低減するには、ファイバースプール280および他の構成要素を遮音して、同じ容器内に二つのレーザーを構成すると良い。こうすると遮音されるし、温度も制御される。つまりところ、前述の各方法の全てを用いて、相対的タイミングジッターは量子限界にまで達した (H.A. Haus and A. Mecozzi, "Noise of mode locked lasers," IEEE J. Quantum Electron., QE 29, pp.983-996, March 1993)。量子限界によるタイミングジッターは、分散(ディスパージョン)の増大に伴って増大するので、分散ゼロの波長の付近でモードロックレーザーを作動させることにより、ジッターはさらに低減されうるであろう。

【0027】

モードロックレーザーのエンドミラーを動揺させることにより、ミラーのミスアラインメントとビント外れとのせいで、走直周波数における振幅の変動が誘起される。ミスアラインメントの作用は、角度の感度を減らすようにP区Tミラーに焦点を結ばせることにより、また、市販のファブリペロー干渉計でできるがアラインメントを保つように三点ミラー走直P区Tを用いることによって、最小化される。ビント外れの影響は、P区Tミラーへのビームウエスト入射(ビーム・ウエスト・インシデント)の共焦点パラメーターに対し、走直振幅が許容できる程に小さいときに、発生しうる。ファイバーレーザーにおいて、このビント外れは、ファイバー内に戻ってくるビームの結合効率(カップリング・エフェシエンス)の減少を起し、今度はパワーの変動を起す。それゆえ、P区Tミラーの焦点深度が浅いこと(タイト・フォーカシング)は、望ましくないことである。ビームのコリメーションの賢明な選定により、このビント外れの影響を低減することができる。例えば、もし40ミクロンの走直範囲を持つP区Tを使用すると、共焦点パラメーターは少なくとも2〜3mmは必要であろう。そこで、 ΔL がP区Tミラーでのビーム・ウエイスットの共焦点パラメーターであるとして、 $(\Delta L / \Delta R)^2$ の量がおおよそ 10^{-4} であるというのはかなり小さい。この量が小さければ、レーザーの振幅変調はこれに伴って小さい。

【0028】

たとえもしミラーの軽度のミスアラインメントが走直中の振幅にいくらかの変動をもたらしたとしても、ファイバーの導波特性(ガイディング・プロパティ)の故に、ビーム指向性(ポインティング)の安定性はいささかも減退しない。しかしながら、ソリッドステート・モードロックレーザーを使用した場合には、もし出力ビームの偏差の発生を防止するように計測が行われなければ、いくらかの出力ビームの偏差が生じる可能性がある。

【0029】

変形態様のレーザーシステムとして、同一のFRMで両レーザーの終端が形成されていても良く、またキャビティ長がP区Tファイバー・ストレッチャーにより調整されるようになっていても良い。このようなピエゾセラミックチューブ・アクチュエータ(PIT 40×18×1)は、ドイツのピエゾメカニク株式会社により製造されている。

【0030】

本発明は、好ましい実施例を参照して説明されてきたが、これらの実施例に應用が限定されることはない。以上の開示と教唆から、本発明に対するその他の変形態様やヴァリエーションがあることは、当業者にとっては明白である。したがって、ここで取り上げて説明してきた本発明の実施例はほんのいくつかののであるが、本発明の思想および見解から離

10

20

30

40

50

れることなく、なおその上に数々の変形が可能であることは明白である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 1 】

【図１】本発明のツインファイバーレーザシステムの構成を示す模式図（同システムでは、両レーザのファイバーは同じ軸に巻かれており、モード同期機構として非線形偏光展開（エヴォリューション）を使用する二つの同一のモードロック・ファイバーレーザを使用。）

【図 2】本発明の動揺法により走査された二つのファイバーレーザの間の相互相関信号を示すグラフ

【図 3】本発明の動揺法により走査された二つのファイバレーザの間の相互相関信号を示す拡大グラフ

【図 4】本発明の動揺法により走査された二つのファイバレーザーの間のタイミングジッターを示すグラフ

【符号の説明】

【 0 0 3 2 】

130: PLL回路安定器

1 3 5 : 信号発生器

210 : マスターレーサー

220 : スレーブリーダー

206 : スプリッター (SPL)

215 : フラデー回転子ミラー (FRM)

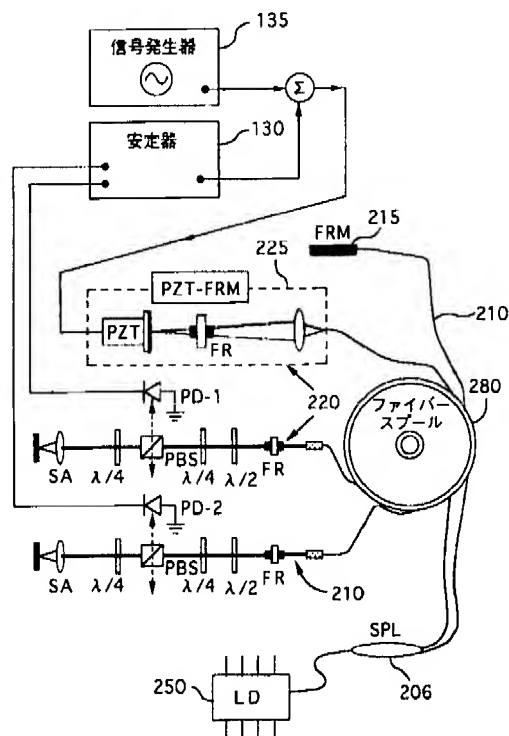
225 : 光学アセンブリ (PXT-FRM)

250 : レーザダイオード (LD)

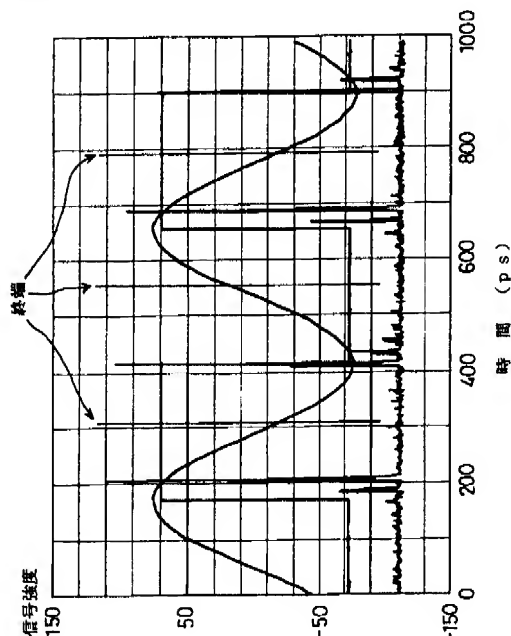
280 : ファイバースプール

【图 1】

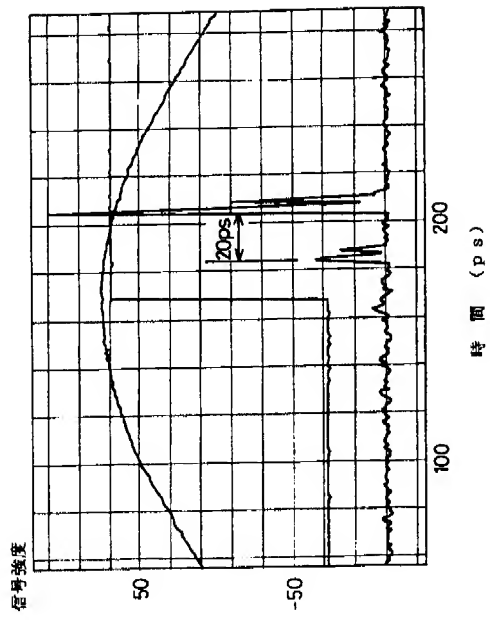
ツインファイバーレーザー



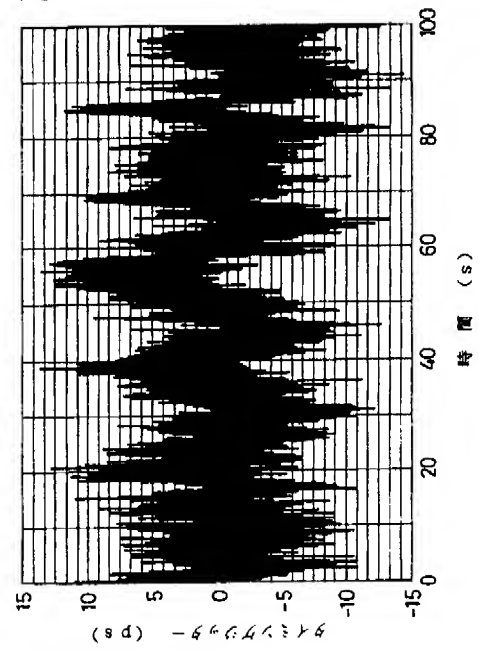
【圖 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ドナルド シェー ハーター

アメリカ合衆国 ミシガン州 アンアーバー サルグレイブ・プレイス 3535 番地

Ｆターム(参考) 5F072 AB07 AK06 HH02 JJ05 JJ13 JJ20 KK01 KK06 KK15 KK18

KK30 MM11 MM16 PP07 SS08 TT12 TT22 TT27 TT30